

# **TUGAS SARJANA**

## **STUDI KARAKTERISTIK SECONDARY FLOW DAN SEPARASI ALIRAN PADA RECTANGULAR DUCT 90<sup>0</sup> DENGAN ANGKA REYNOLDS 110.000**



Disusun oleh : Darmanik Rachman

NIM : L2E 307012

JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS DIPONEGORO

SEMARANG

2011

## TUGAS SARJANA

Diberikan kepada : Nama : Darmanik Rachman  
NIM : L2E 307012

Dosen Pembimbing : 1. Dr. Ir. Dipl. Ing. Berkah Fajar TK  
2. Khoiri Rozi, ST, MT

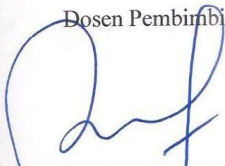
Jangka Waktu : 23 (dua puluh tiga) bulan

Judul : STUDI KARAKTERISTIK SECONDARY FLOW DAN  
SEPARASI ALIRAN PADA RECTANGULAR DUCT  
90<sup>0</sup> DENGAN ANGKA REYNOLDS 110.000

Isi Tugas : - Menentukan aliran sekunder yang terjadi dalam  
*rectangular duct* 90°.  
- Menentukan separasi yang terjadi dalam *rectangular duct* 90°.  
- Menentukan *debit* (Q) dan *discharge coefficient* (Cd).

Menyetujui

Dosen Pembimbing I



Dr. Dipl. Ing. Ir. Berkah Fajar TK  
NIP. 195907221987031003

Dosen Pembimbing II







Khoiri Rozi, ST, MT  
NIP. 197602162009121001

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
NAMA : Darmanik Rachman  
NIM : L2E 307 012  
Jurusan/Program Studi : Teknik Mesin  
Judul Skripsi : Studi Karakteristik Secondary Flow Dan Separasi Aliran Pada Rectangular Duct 90° Dengan Angka Reynolds 110.000

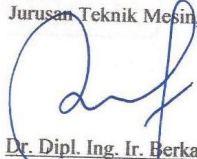
Telah berhasil dipertahankan dihadapan Tim Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.

## TIM PENGUJI

Pembimbing I : Dr. Dipl. Ing. Ir. Berkah Fajar TK (  )  
Pembimbing II : Khoiri Rozi, ST, MT (  )  
Penguji : Dr. Rusnaldy, ST, MT (  )  
Penguji : Ir. Sugeng TA, MT (  )

Semarang,

Ketua  
Jurusan Teknik Mesin,

  
Dr. Dipl. Ing. Ir. Berkah Fajar TK  
NIP. 195907221987031003

## ABSTRAKSI

Pada studi eksperimen dengan AF 15 berdimensi 50 mm x 100 mm dengan angka *Reynolds* 110.000 akan didapatkan nilai *pressure coefficient* (*C<sub>p</sub>*) dan grafik *C<sub>p</sub>*. Dalam simulasi ini menggunakan perangkat lunak FLUENT 6.3.26 dengan metode *k-epsilon*, model *realizable* dan model turbulensi didekat dinding *Non-Equilibrium*. Hasil simulasi digunakan untuk memverifikasi nilai *pressure coefficient* (*C<sub>p</sub>*) pada hasil eksperimen berbentuk grafik setangkup yang hampir serupa. Ada dua hasil yang didapat dari simulasi *rectangular duct 90°*. Pertama, menunjukkan adanya aliran sekunder yang disebabkan adanya perbedaan tekanan antara *inner wall* dan *outer wall* yang mengakibatkan gerakan fluida tidak hanya searah arus utamanya tetapi juga kearah melintang pada *outer wall* menuju *inner wall* akibat dari aliran melintang tersebut maka terjadi fenomena *vortex* pada *inner wall*. Kedua, menunjukkan tidak terjadi separasi dikarenakan fluida masih mempunyai momentum untuk melawan gradient tekanan.

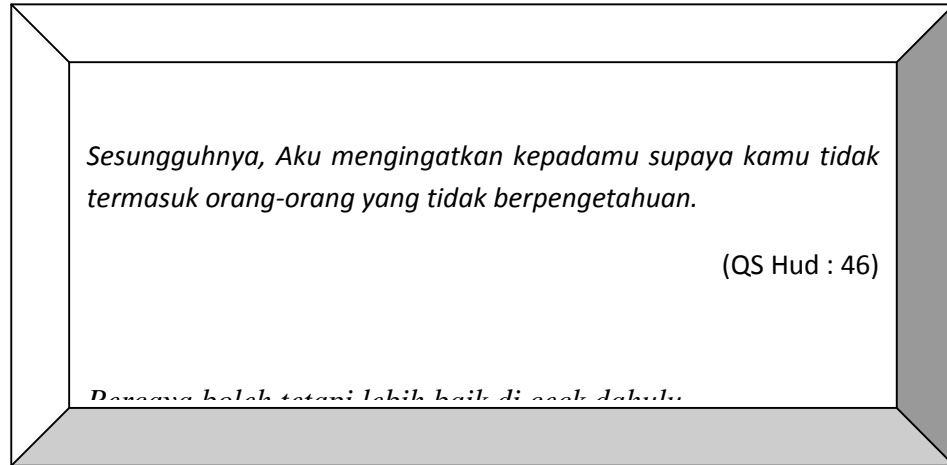
Kata kunci : aliran sekunder, separasi aliran

## ABSTRACT

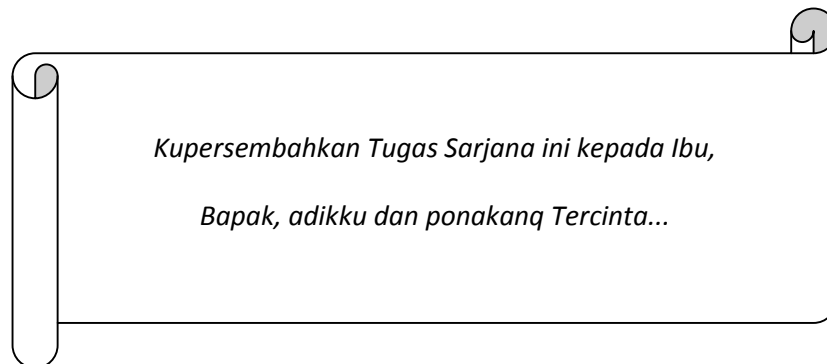
*In experimental studies with AF 15 dimensions 50 mm x 100 mm with Reynolds number 110.000 will obtain the pressure coefficient ( $C_p$ ) and graph  $C_p$ . In this simulation using the software FLUENT 6.3.26 using k-epsilon, realizable model and turbulence model near the wall of Non-Equilibrium. The simulation results are used to verify the value of pressure coefficient ( $C_p$ ) on the experimental results in the form of symmetric graphs are almost similar. There are two results obtained from simulation of rectangular duct 90°. First, it shows the existence of secondary flow caused by the pressure difference between the inner wall and outer wall resulting fluid motion is not only the main flow direction but also the direction transverse to the outer wall toward the inner wall of the cross-flow effect is the phenomenon of vortex on the inner wall. Second, showed no separation occurs because the fluid still has the momentum to resist the pressure gradient.*

*Keywords: secondary flow, flow separation*

## MOTTO



## PERSEMBAHAN



## KATA PENGANTAR

Segala puji syukur senantiasa penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena berkat rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini dengan judul “Studi Karakteristik Secondary Flow Dan Separasi Aliran Pada Rectangular Duct 90<sup>0</sup> Dengan Angka Reynolds 110.000”. Tugas sarjana ini merupakan salah satu syarat yang harus dipenuhi pada program strata satu (S1) di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro Semarang.

Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih atas bimbingan, bantuan, serta dukungan kepada :

1. Dr. Ir. Dipl. Ing. Berkah Fajar TK, selaku Dosen Pembimbing I dan Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Diponegoro Semarang.
2. Khoiri Rozi, ST, MT, selaku Dosen Pembimbing II.
3. Kedua orang tua dan adik atas do'a, bantuan serta dorongannya selama ini.
4. Teman-teman mahasiswa teknik mesin ekstensi D3 angkatan 2007, yang telah banyak membantu penulis baik secara moril, maupun materiil.

Dalam penulisan tugas sarjana ini penulis menyadari banyak kekurangan. Oleh karena itu segala kritik yang bersifat membangun akan diterima dengan senang hati untuk kemajuan bersama. Akhir kata penulis berharap semoga laporan tugas akhir ini dapat memberikan manfaat kepada siapa saja yang membutuhkan data maupun referensi yang ada dalam laporan ini.

Terima kasih.

Semarang, 22 Maret 2010

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN TUGAS SARJANA.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
ABSTRAKSI.....	iv
<i>ABSTRACT</i> .....	v
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	vi
KATA PENGANTAR .....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR SIMBOL.....	xv
BAB I    PENDAHULUAN.....	1
1.1   Latar Belakang Masalah.....	1
1.2   Perumusan Masalah .....	2
1.3   Batasan Masalah.....	2
1.4   Tujuan Penelitian .....	3
BAB II   TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1   Penelitian terdahulu .....	4
2.1.1   Kajian Aliran Pada Endwall.....	4
2.1.2   Distribusi korfisien tekanan pada belokan .....	5
2.1.3   Aliran Sekunder .....	6
2.2   Topologi Separasi Pada Aliran Fluida.....	9



2.2.1	Pola Aliran .....	11
2.2.2	Pola Separasi .....	12
2.3	Aliran didalam Rectangular duct 90 <sup>0</sup> .....	15
BAB III METODE PENELITIAN.....		20
3.1	Deskripsi Alat Uji .....	20
3.2	Instalasi Alat Uji .....	22
3.3	Peralatan Pendukung.....	25
3.4	Prosedur Percobaan.....	27
3.5	Langkah-langkah Percobaan .....	27
3.6	Studi Numerik .....	29
3.6.1	<i>CFD</i> .....	29
3.6.2	Model Turbulensi .....	30
3.6.2.1	k-epsilon.....	31
3.6.2.1.1	Standart .....	31
3.6.2.1.2	RNG .....	31
3.6.2.1.3	Realizable.....	32
3.6.2.2	k-omega.....	32
3.6.2.2.1	Standart .....	32
3.6.2.2.2	SST.....	33
3.6.3	Model Turbulensi di Dekat Dinding .....	33
3.6.4	Diskretisasi.....	34
3.6.4.1	<i>First - Order Upwind</i> .....	34
3.6.4.2	<i>Second - Order Upwind</i> .....	34
3.4.5	Jenis Grid.....	35
3.4.6	Kualitas mesh .....	35
3.6.6.1	Kerapatan Nodal.....	35
3.6.6.2	Bentuk cel.....	36

3.6.7	Langkah-langkah FLUENT .....	37
3.6.7.1	Pemodelan dan Meshing .....	37
3.6.7.2	Prosedur Fluent 6.3.26 .....	37
BAB IV HASIL ANALISA DAN PEMBAHASAN .....		44
4.1	Pengolahan Data .....	44
4.1.1	Mencari Kecepatan.....	44
4.1.2	Perhitungan Bilangan Reynolds.....	45
4.1.3	Pembacaan Data Eksperimen.....	46
4.1.4	Perhitungan Debit.....	47
4.1.4.1	Perhitungan Debit Teoritis .....	47
4.1.4.2	Perhitungan Debit Aktual.....	47
4.2	Hasil dan Analisa .....	48
4.2.1	Distribusi kofisien tekanan .....	49
4.2.2	Aliran Sekunder .....	55
4.2.3	Separasi Aliran .....	60
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		60
5.1	Kesimpulan .....	60
5.2	Saran.....	61

## DAFTAR PUSTAKA

## LAMPIRAN

## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Pembacaan manometer.....	46
Tabel 4.2	Tekanan dan $C_p$ eksperimen .....	49
Tabel 4.3	Tekanan statis hasil simulasi studi numerik.....	53
Tabel 4.4	$C_p$ eksperimen dan $C_p$ fluent.....	79

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Geometri <i>endwall</i> persegi .....	4
Gambar 2.2	Distribusi tekanan statik pada dinding saluran.....	5
Gambar 2.3	Profil kecepatan pada cembung dan cekung. ....	6
Gambar 2.4	Geometri belokan dan sistem koordinat.....	6
Gambar 2.5	Schematik diagram pada belokan dan sistem koordinat .....	7
Gambar 2.6	Kontur kecepatan (atas) dan kecepatan vektor (bawah), sisi kiri ( <i>inner wall</i> ) sisi kanan.....	7
Gambar 2.7	Geometri belokan square $90^0$ dan rectangular $90^0$ .....	8
Gambar 2.8	Kontur tekanan <i>curved section</i> .....	9
Gambar 2.9	Separasi aliran pada <i>curved duct</i> .....	10
Gambar 2.10	Titik kritis dalam pola aliran .....	11
Gambar 2.11	Geometri diffuser .....	11
Gambar 2.12	Separasi global di dinding bagian dalam diffuser dengan rasio $R/W_1=1$ dan $U_m=0,5\text{m/s}$ ( $Re = 97.000$ ).....	12
Gambar 2.13	Arus balik daerah untuk diffuser dengan rasio $R/W_1=1$ dan $U_m=0,5\text{m/s}$ ( $Re = 97.000$ ) .....	12
Gambar 2.14	Separasi global di dinding bagian dalam diffuser dengan rasio $R/W_1=1$ dan $U_m=2\text{m/s}$ ( $Re = 388.000$ ).....	12
Gambar 2.15	Arus balik daerah untuk diffuser dengan rasio $R/W_1=1$ dan $U_m=2\text{m/s}$ ( $Re = 388.000$ ) .....	13
Gambar 2.16	Separasi global di dinding bagian dalam diffuser dengan rasio $R/W_1=4$ dan $U_m=0,5\text{m/s}$ ( $Re = 97.000$ ).....	13
Gambar 2.17	Daerah aliran balik untuk diffuser dengan rasio $R/W_1=4$ dan $U_m=0,5\text{m/s}$ ( $Re = 97.000$ ).....	13

Gambar 2.18	Separasi global di dinding bagian dalam diffuser dengan rasio $R/W_1=4$ dan $U_m=2\text{m/s}$ ( $Re = 388,000$ ).....	14
Gambar 2.19	Daerah <i>cross-section</i> dengan rasio $R/W_1=4$ dan $U_m=2\text{m/s}$ ( $Re = 388,000$ ).....	14
Gambar 2.20	Skema yang menggambarkan separasi aliran pada duct .....	15
Gambar 2.21	Pembentukan <i>secondary flow</i> di dalam suatu belokkan dari suatu saluran .....	16
Gambar 2.22	Aliran pada belokan .....	17
Gambar 3.1	Alat Uji <i>Air Flow Bench AF 10</i> .....	20
Gambar 3.2	Instalasi Penelitian .....	21
Gambar 3.3	Blower .....	21
Gambar 3.4	Honey Comb .....	22
Gambar 3.5	a. <i>Rectangular duct 90°</i> .....	23
Gambar 3.5	b. Dimensi dari <i>Rectangular duct 90°</i> dan posisi dari <i>pressure</i> <i>tappings</i> .....	23
Gambar 3.6	Katup kontrol .....	24
Gambar 3.7	<i>Thermometer</i> .....	24
Gambar 3.8	<i>Inclinable Multi Tube Manometer</i> .....	25
Gambar 3.9	<i>Reservoir</i> .....	25
Gambar 3.10	Tipe Sel 2D .....	34
Gambar 3.11	Tipe Sel 3D .....	34
Gambar 3.12	Bagian-bagian Cell.....	35
Gambar 3.13	Jenis Mesh dan Penggunaannya.....	35
Gambar 3.14	Pemilihan model fluent .....	37
Gambar 3.15	Geometri <i>rectangular duct 90°</i> dengan <i>GAMBIT</i> .....	37
Gambar 3.16	Model solver.....	38
Gambar 3.17	Model viscos .....	38
Gambar 3.18	Pemilihan material .....	39

Gambar 3.19	Kondisi daerah operasi .....	39
Gambar 3.20	Boundary conditions .....	40
Gambar 3.21	Pemilihan penyelesaian .....	40
Gambar 3.22	Proses inisiasi .....	41
Gambar 3.23	Proses iterasi.....	41
Gambar 3.24	Setelah konvergen .....	42
Gambar 4.1	Grafik $C_p$ radial terhadap plane .....	49
Gambar 4.2	Grafik $C_p$ <i>outer</i> dan <i>inner</i> terhadap plane.....	49
Gambar 4.3	Kontur tekanan statik .....	50
Gambar 4.4	Kontur tekanan disetiap plane .....	51
Gambar 4.5	Kontur tekanan pada <i>rectangular duct</i> $90^0$ .....	51
Gambar 4.6	Grafik verifikasi nilai $C_p$ eksperimen dan $C_p$ dan <i>fluent</i> .....	53
Gambar 4.7	Grafik verifikasi $C_p$ <i>radial</i> eksperimen dan $C_p$ <i>radial fluent</i> .....	53
Gambar 4.8	Vektor kecepatan disetiap plane.....	55
Gambar 4.9	<i>Streamline</i> .....	57
Gambar 4.10	Gerak <i>rolling</i> tampak dari atas.....	57
Gambar 4.11	<i>Secondary flow</i> tampak dari <i>endwall</i> .....	58
Gambar 4.12	<i>vortex</i> tampak dari <i>endwall</i> .....	58
Gambar 4.13	Vektor kecepatan.....	59

## Daftar Simbol

$A$	area, m <sup>2</sup>
$b$	tinggi, mm
$C_d$	<i>discharge coefficient</i>
$C_p$	<i>pressure coefficient</i>
$D_h$	diameter hidrolis, m
$g$	percepatan gravitasi, kg m/s
$h$	lebar, mm
$I$	intensitas turbulen, %
$m$	massa, kg
$P$	tekanan, Pa
$p_o$	tekanan terukur, Pa
$Q$	laju aliran volume, m <sup>3</sup> /s
$r$	radius, mm
$Re$	<i>reynold number</i>
$V/u$	kecepatan, m/s
	massa jenis, kg/m <sup>3</sup>
$\mu$	viskositas, kg/m-s